

Aus der Veterinär-Chirurgischen Klinik der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. A. Müller)

Arbeit unter der Leitung von Dr. R. Heckmann, Oberassistent

Zur Messung der orthodromen und der antidromen Nervenleitgeschwindigkeit sensibler Nervenfasern beim Hund

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

Beat Nicca
Tierarzt

von

Sufers, Donath und Zürich

Genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. A. Müller, Referent
Prof. Dr. H.P. Ludin, Korreferent

Zürich 1981



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Veterinär-Chirurgischen Klinik der Universität Zürich

(Direktor: Prof. Dr. A. Müller)

Arbeit unter der Leitung von Dr. R. Heckmann, Oberassistent

Zur Messung der orthodromen und der antidromen Nervenleitgeschwindigkeit sensibler Nervenfasern beim Hund

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

Beat Nicca

Tierarzt

von

Sufers, Donath und Zürich

Genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. A. Müller, Referent
Prof. Dr. H.P. Ludin, Korreferent

Zürich 1981

Das die...
1894...
...

Zur Messung der...
...
...



Meinen herzlichen Dank

- Herrn Dr. R. Heckmann, für Thema und Unterstützung der Arbeit.
- Herrn Prof. Dr. H.P. Ludin, für die Durchsicht der Arbeit.
- Herrn P. Oettli, für die Beratung und Mithilfe bei der Realisierung der Dissertation.
- Frau E. Binz und Fräulein J. Hollinger, für die Mithilfe bei der Durchführung der Messungen.
- Fräulein E. Ammann, für die Anfertigung der Abbildungen.
- Frau B. Simmen, für die Reinschrift des Manuskripts.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Methodik
3. Ergebnisse
4. Diskussion
5. Abbildungen
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der sensiblen Neurographie beim Hund, d.h. mit der elektrophysiologischen Untersuchung peripherer, sensibler Nervenfasern. Dabei interessieren vor allem die sensible Nervenleitgeschwindigkeit und, jedenfalls bei der orthodromen Technik, die Parameter der Nervensummenpotentiale. Für die Bestimmung der sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit beim Menschen sind verschiedene Techniken beschrieben worden, von denen vor allem zwei Methoden verwendet werden, nämlich die orthodrome und die antidrome Untersuchungsmethode (28). Bei der orthodromen Technik reizt man sensible Nervenendigungen distal an einem peripheren Nerven und leitet proximal Summenpotentiale vom Nervenstamm ab. Bei der antidromen Methode geht man ähnlich vor wie bei der Bestimmung der motorischen Leitgeschwindigkeit (11). Man reizt mit Rechteckimpulsen den peripheren Nervenstamm und leitet die evozierte Aktivität distal an einer Stelle ab, wo periphere Nerven nur noch sensible Fasern führen. Schädigungen der Myelinscheide führen zu einer Verlangsamung der Leitgeschwindigkeit (7). Veränderte Parameter der Aktionspotentiale sind dann zu erwarten, wenn ein Krankheitsgeschehen die Myelinscheiden oder die Axone oder beide in Mitleidenschaft zieht. Bei axonalen Läsionen liegen die Verhältnisse anders. Da die Erregungsleitung einem Alles - oder - Nichts - Gesetz folgt, leitet ein Axon mit normaler Geschwindigkeit bis zu einer kritischen Schwelle der Schädigung. Jenseits dieser Schädigungsschwelle erfolgt keine Signalübertragung mehr (33, 36).

Die meisten Autoren sind sich darin einig, dass die sensible Nervenleitgeschwindigkeit und das Nervensummenpotential bei peripheren Neuropathien häufiger und früher pathologisch ausfallen als die motorische Nervenleitgeschwindigkeit und das Muskelsummenpotential (5, 6, 26). Mit der Bestimmung der sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit will man vor allem Polyneuropathien erfassen, bei denen periphere Nerven partiell oder über weite Strecken geschädigt sind. Man setzt diese Techniken aber auch ein um eine umschriebene periphere Nervenläsion zu erfassen und zu lokalisieren.

Bei den Polyneuropathien handelt es sich um Nervenerkrankungen unterschiedlichster Ätiologie, wie sie beim Menschen in grosser Vielfalt beschrieben sind (30, 33). Polyneuropathien sind auch beim Hund festge-

stellt worden, so die Polyradikuloneuritis (7), die Neuritis des Plexus brachialis, die Riesenaxon neuropathie, die distale Denervation, die Axonopathie der Boxerhunde und die sensorische Neuropathie von Dackeln (9,10). Bereits früher ist gezeigt worden, dass die Bestimmung der sensiblen orthodromen Nervenleitgeschwindigkeit beim Hund möglich ist (1, 16). Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine zuverlässige und für die klinische Untersuchung anwendbare Technik zu finden, welche es gestattet, rasch ortho- und antidrome Nervenaktionspotentiale an peripheren sensiblen Nerven des Hundes zu registrieren. Anwendbarkeit und Nutzen der ortho- und antidromen Untersuchungstechnik sollen diskutiert und die Parameter der Potentiale gesunder Tiere festgehalten werden.

2. Methodik

Die Messungen wurden an 14 klinisch gesunden, nicht reinrassigen, 1/2 - 8-jährigen Hunden, deren Gewicht zwischen 11 und 29 kg variierte, durchgeführt. 12 der Tiere waren weiblich, 2 männlich.

Folgende technische Ausrüstung stand zur Verfügung:

- 3-Kanal-Elektromyograph, Disa	Typ 14 A 30
bestehend aus	
3 Verstärkereinheiten	Typ 14 C 10
1 Grossbildsichtgerät	Typ 14 B 70
1 Steuereinheit	Typ 14 F 01
1 Stimulatoreinheit	Typ 14 E 10
- Averager, Disa	Typ 14 G 01
- teflonisierte Stahlnadeln mit blanker Spitze, Disa	Typ 13 L 63
- konzentrische Elektroden, Disa	Typ 13 K 59
- Steuergerät zu X-Y-Schreiber	Firma Hogg
- X-Y-Schreiber, Watanabe	Typ WX 441
- elektrisches Universalthermometer, Ellab A/S Kopenhagen	Typ TE 3
- Nadelführer Ø 0,7 mm, Ellab	Typ K 8
- Klemmelektroden für Zehen	Eigenbau

Die Anordnung der Geräte ist in Abbildung 1 dargestellt.

Als Stimulator wurde ein "constant voltage" Reizgerät verwendet, welches Rechteckimpulse von 0,05 - 2 ms Dauer, mit einer Frequenz von 1 - 10 Herz abgeben kann und bei dem die Reizspannung von 0 - 500 Volt verstellbar ist.

Für die Reizung und Ableitung am Nervenstamm wurden teflonisierte Disa Stahlnadeln (Abb. 3a) eingesetzt, deren freie Oberfläche bei der differentiellen Elektrode 5 mm², bei der indifferenten 8 mm² beträgt.

Die Muskelsummenpotentiale wurden mit konzentrischen Nadelelektroden abgeleitet (Abb. 3b).

Die beim Menschen gebräuchlichen Ringelektroden für Finger und Zehen können beim Hund wegen der Zwischenzehenhäute nicht verwendet werden. Es

wurden deshalb Klemmelektroden aus Federstahldraht von 0,7 mm Durchmesser angefertigt und anschliessend galvanisch vergoldet (Abb. 3c).

Die Anforderungen an einen Verstärker zur Ableitung von sensiblen Nervenaktionspotentialen sind gleich wie für Elektromyographie-Verstärker (28). Der für diese Messungen verwendete Verstärker wies folgende Daten auf:

Empfindlichkeit:	5 μ V
Eigenrausch:	2,5 μ V (2 - 10'000 Hz)
Bandbreite:	2 - 10'000 Hz
begrenzbar auf	20 - 1'000 Hz
Common Mode Rejection Ratio:	80 dB
Eingangsimpedanz asymmetrisch:	100 M Ω , 30 pF

Das Verfahren der elektronischen Mittelwertbildung - Averaging - wird dort eingesetzt, wo es gilt, kleine aber immer wieder an der gleichen Stelle auftretende Aktionspotentialen von Verstärkerrauschen und Aussenstörungen, die unregelmässig auftreten, zu trennen und darzustellen. Auf diese Weise können Komponenten von 0,03 - 0,01 μ V gemessen werden.

Das eintreffende Signal wird im Averager in 512 zeitliche Intervalle zerlegt, und die Amplitudenmittelwerte dieser Intervalle werden in 256 ($\approx$ 8 Bit) Punkte aufgelöst. Diese Information wird anschliessend gespeichert. Repetitive Signalzüge werden zeitsynchron addiert, was zur Folge hat, dass bei grösserer Anzahl von Signaldurchgängen zeitlich zufällig auftretende Störsignale statistisch ausgemittelt werden. Diese Massnahme vergrössert den Signal-Rauschabstand erheblich.

Der von uns verwendete Averager wies folgende technische Daten auf:

digitale Auflösung:	512 Worte à 8 Bit
Speicherformat:	512 Worte à 18 Bit
Genauigkeit:	0,4 %
Engangsspannung:	$\pm$ 4 Vp
Frequenzbereich:	DC - 120 kHz
Analysenzeit:	10 ms - 5 sec in 1/2/5 Schritten
Anzahl Signaldurchgänge:	2 - 1024 in Potenzen von 2

Die Ableitung von sensiblen Nervenaktionspotentialen beim nicht narkotisierten Hund ist unmöglich. Der Untersuchungsvorgang ist schmerzhaft, unter Leitungsblockade mit Lidocain würden die Tiere den ca 1 Stunde

dauernden Versuch nicht ruhig über sich ergehen lassen. Deshalb wurden die Tiere narkotisiert. Die Narkoseeinleitung erfolgte durch eine Neuroleptanalgesie mit Polamivet^{R*} und Vetranquil^{R**} in folgender Dosierung: Polamivet 0,3 ml/kg Körpergewicht und Vetranquil 0,01/kg Körpergewicht. Diese intravenöse Narkoseeinleitung genügte, um die Tiere zu intubieren und an das halbgeschlossene Inhalationsnarkosesystem anzuschliessen. Um die Narkose aufrecht zu erhalten oder zu vertiefen, verwendeten wir ein Lachgas-Sauerstoffgemisch im Verhältnis 2:1 und Fluothan nach Bedarf (0-2 Vol%).

Durch das 128-malige Reizen wurden gelegentlich Tiere trotz der Narkose unruhig. In solchen Fällen wurde zusätzlich im Plexus brachialis oder am Nervus ischiadicus eine Leitungsblockade mit Lidocain 2% gesetzt.

Zur Messung der orthodromen sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit müssen die Reize an den Zehen appliziert werden. Dort befinden sich keine Muskeln und somit keine motorische Nervenfasern; die Fingernerven sind rein sensibel. Eine vom zu untersuchenden Nerv innervierte Zehe wird ausrasiert und mit Äther oder Benzin entfettet. Dadurch wird der elektrische Hautwiderstand verkleinert. Nun überzieht man die Elektroden mit Filz, der in physiologischer Kochsalzlösung getränkt wird (Abb. 3d). Die Reizkathode wird zwischen Zehengrund- und Zehenmittelgelenk, die Reizanode zwischen Zehenmittel- und Zehenendgelenk angebracht (Abb. 2).

Für die supramaximale Reizung hat sich gezeigt, dass meist ein Rechteckimpuls von 50 Volt Spannung und 0,05 - 0,2 ms Dauer genügt. Die kürzere Reizzeit wurde vor allem für die distale Ableitung gewählt, weil dadurch das Reizartefakt kürzer wurde und das Signal nicht störte. Eine Reizfrequenz von 3 Hz hat sich am besten bewährt. Bei höherer Reizfolge wurden die Tiere trotz Narkose unruhig, und auftretende Muskelreflexpotentiale störten die Aufzeichnung.

Um möglichst reproduzierbare Resultate zu erhalten, sollten Nadelelektroden mit definierten Abmessungen und Eigenschaften verwendet werden (28). Für unsere Untersuchungen verwendeten wir Teflonüberzogene Stahlnadeln (Abb. 3a).

* 1 ml Polamivet^R (Hoechst) enthält 2,5 mg 1-Polamidon + 0,125 mg 2.2 diphenyl-4-piperidino-butyramid-hydrochlorid.

** Vetranquil^R (Lathvet) ist 1%iges Acepromazin.

Die differente Elektrode hatte eine blanke Fläche von 5 mm^2 , die indifferente eine solche von 8 mm^2 . Für guten Frequenzgang, kleines Rauschen und gute Gleichtaktunterdrückung sollte die Elektrodenimpedanz möglichst niedrig sein. Sie kann sich durch den Gebrauch um ein Mehrfaches vergrössern. Entsprechend dem Vorschlag von Buchthal und Rosenfalck (4) wurden deshalb die Elektroden regelmässig vor Gebrauch elektrolytisch behandelt. Die Elektroden wurden hierzu in physiologische Kochsalzlösung getaucht und mit einem Strom von maximal 10 mA/mm^2 durchflossen, bis die ersten Bläschen aufstiegen. Dabei darf der Strom nicht zu lange fließen, da sonst die Elektroden irreversibel geschädigt werden können (28). Bei der Untersuchung von gemischten Nerven wird die motorische Reizantwort zum Bestimmen der optimalen Elektrodenposition verwendet. Mit einer konzentrischen Nadelelektrode (Abb. 3) leitet man in einem vom gereizten Nerven versorgten Muskel ein Summenpotential ab. Die differente Elektrode wird an der vorgesehenen Untersuchungsstelle so plaziert, dass bei geringer Reizintensität ein Muskelsummenpotential auftritt. Bei den orthodromen Untersuchungen konnte mit 1,5 - 2,5 Volt Reizspannung und 0,05 ms Reizdauer noch ein deutliches Muskelsummenpotential bei $100 \mu\text{V}$ Empfindlichkeit des Verstärkers dargestellt werden. Im Plexus brachialis konnten die Nadelelektroden manchmal nicht optimal gesetzt werden, so dass bei einer Reizdauer von 0,05 msec eine Reizspannung von 15 Volt nötig war.

Die Reizimpulse bewirken über die Reizung motorischer Nervenfasern starke Zuckungen der Muskulatur distal der Reizstelle. Daher empfiehlt es sich, zuerst die proximalen Elektroden zu setzen. So kann verhindert werden, dass sich bereits exakt plazierte Elektroden an den distalen Abschnitten verschieben, wenn proximal gereizt wird.

Bedeutend schwieriger wird die optimale Platzierung der Elektroden bei rein sensiblen Nerven, wie zum Beispiel am Nervus saphenus. Die bequeme Möglichkeit, den Sitz der Elektroden anhand eines Muskelsummenpotentials zu überprüfen, entfällt hier. Man kann distal reizen und mit der differentiellen Ableitelektrode die Stelle suchen, wo das sensible Nervenaktionspotential die grösste Amplitude erreicht. Bei Ableitung an mehr als einer Stelle werden die Elektroden abwechselnd zum Reizen und Ableiten gebraucht, wobei die Positionen mit den niedrigsten Reizschwellen und den höchsten Potentialamplituden ermittelt werden. Diese Prozedur beansprucht allerdings viel Zeit.

Die indifferente Elektrode wird 30 - 50 mm neben der differentiellen, auf gleicher Höhe, subkutan gesteckt. Um die Elektroden möglichst vor Verschiebungen zu bewahren, hat es sich bewährt, die Haare an der Einstichsstelle mit einem textilen Klebeband (Isolierband) zu überkleben und die Nadeln durch das Band zu stoßen. Je eine Erdungselektrode wird dorsal und ventral der Metacarpal- bzw. Metatarsalknochen subkutan angelegt.

Die abgeleiteten orthodromen sensiblen Nervenaktionspotentiale sind, besonders bei Messdistanzen über 20 cm, sehr klein und verschwinden häufig im Eigenrauschen des Verstärkers. Deshalb wurde bei den vorliegenden Versuchen das Verfahren der elektronischen Mittelwertbildung (Averaging) angewandt.

Zur Bestimmung der orthodromen sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit erfolgt die Stimulation der sensiblen Nervenfasern an den Zehen und die Ableitung am Nervenstamm. Die Methode wird als orthodrom bezeichnet, weil die Messrichtung der physiologischen Leitrichtung der untersuchten Nervenfasern entspricht.

Die Verstärkerempfindlichkeit für die orthodrome Messung wurde meist auf $10 \mu\text{V}$ eingestellt, wobei die obere Grenzfrequenz auf 10 kHz belassen wurde. Musste ausnahmsweise mit $5 \mu\text{V}$ Empfindlichkeit gearbeitet werden, wurde die obere Grenzfrequenz auf 2 kHz gestellt.

Die Analysenzeit für den Averager betrug bei allen Messungen 20 ms.

128 Stimulationen haben sich für diese Untersuchungen beim gesunden Hund als optimal erwiesen.

Die Anordnung der Geräte erlaubte es, auf dem Bildschirm jedes einzelne Reizantwortpotential und auf einem zweiten Kanal gleichzeitig das vom Averager gemittelte Signal zu beobachten (Abb. 1b). Nach Erreichen der Mittlungszahl (n), wurde das Averagersignal vom X-Y-Schreiber zusammen mit einem Eichsignal herausgeschrieben.

Zur Bestimmung der antidromen sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit erfolgte die Stimulation am Nervenstamm und die Ableitung der sensiblen Nervenaktionspotentiale an den Zehen, in denen die Nerven rein sensibel sind. Die Methode wird als antidrom bezeichnet, da die untersuchten Nervenfasern physiologisch in der entgegengesetzten Richtung Signale leiten.

Die Reizkathode wurde für die antidrome Messung jedoch genauer gesetzt als bei der orthodromen Messung, und zwar so, dass mit 0,5 Volt Reizspannung und 0,05 ms Reizdauer noch ein deutliches Muskelsummenpotential bei 100 μV Empfindlichkeit des Verstärkers vom Kontrollmuskel ableitbar war. Je kleiner die Reizspannung gewählt werden konnte, umso weniger wurden andere Nerven und motorische Fasern miterregt.

Bei der antidromen Messung der sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit muss der Nervenstamm submaximal gereizt werden, um nur sensible Nervenfasern zu stimulieren (28). Als Reizzeit wählten wir 0,05 ms. Die notwendige Reizspannung variierte etwas, abhängig von der Reizkathodenposition, zwischen 0,3 und 2,5 Volt. Als Reizfrequenz hat sich am besten 2 Hz bewährt. Eine höhere Reizfolge machte die Tiere trotz Narkose unruhig. Immer wurden bei der Reizung am Nervenstamm auch motorische Nervenfasern miterregt, so dass die Gefahr der Ueberdeckung der antidromen sensiblen Nervenaktionspotentiale mit volumengeleiteten Muskelsummenpotentialen bestand. Es empfiehlt sich deshalb, in dem distalsten, noch vom zu untersuchenden Nerv innervierten Muskel, mit einer konzentrischen Nadelelektrode das motorische Summenpotential abzuleiten. Diese motorischen Summenpotentiale können bei der antidromen Messung als volumengeleitete motorische Summenpotentiale mit aufgezeichnet und mit den antidromen Nervenaktionspotentialen verwechselt werden. Antidrome Nervenaktionspotentiale dürfen deshalb nur verwendet werden, wenn sie entweder bei Reizstärken, die für die motorischen Fasern unterschwellig sind, auftreten oder wenn ihre Latenzzeit eindeutig kürzer ist als die der motorischen Summenpotentiale (28).

Ohne Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses mittels eines Averagers ist die Aufzeichnung von antidromen sensiblen Nervenaktionspotentialen kaum möglich. Die Potentialamplituden sind mit ca. 1 - 3 μV so klein, dass sie im Eigenrauschen des Verstärkers untergehen. Ein 128-maliges elektronisches Mitteln bringt brauchbare Potentiale bei einer Analysenzeit von 20 ms.

Als Verstärkerempfindlichkeit hat sich für die antidrome Messung am besten 5 μV bewährt, wobei die obere Grenzfrequenz auf 2 kHz gestellt wurde. Durch die in Abbildung 1a gezeigte Schaltung der elektronischen Geräte kann bei jedem Reiz auf dem Bildschirm Kanal 1 das aus dem Muskel abge-

leitete Summenpotential, auf Kanal II das eintreffende antidrome Signal und auf Kanal III das bereits vom Averager gemittelte Signal beobachtet werden.

Das Stimulationsgerät wird auf 0,05 ms Reizdauer eingestellt und die Reizspannung langsam von 0 an erhöht, bis auf dem Bildschirm ein Signal sichtbar wird. Auf Kanal I kann dabei kontrolliert werden, ob es sich um ein volumengeleitetes Muskelsummenpotential handelt oder ob es früher eintrifft und man also annehmen darf, dass es ein antidromes sensibles Nervenaktionspotential ist. Wie bereits oben beschrieben, können die antidromen Signale ungemittelt direkt auf Kanal II kaum festgestellt werden. Deshalb empfiehlt es sich, beim ersten Auftreten eines Signals auf Kanal II eine Versuchsmessung zu machen, bei der man dann auf Kanal III nach 128-maligem Mitteln das Averagersignal auf antidrome Signale untersuchen kann. Die Reizspannung wird nun nach jedem Messversuch etwas erhöht, bis auf Kanal III ein eindeutig vor dem Muskelsummenpotential liegendes antidromes Signal registriert wird. Dieses wird dann auf dem X-Y-Schreiber in der gewünschten Grösse herausgeschrieben. Gleichzeitig wird ein Muskelsummenpotential von Kanal I ebenfalls auf dem Averager gespeichert und unter das antidrome Signal geschrieben. Nur wenn dieses direkt aufgezeichnete Muskelsummenpotential eine grössere Latenz aufweist ist man sicher, dass das erste Signal ein antidromes Nervenaktionspotential ist.

Nachfolgend die Zusammenstellung der in dieser Arbeit benutzten Reiz- und Ableitpunkte (Abb. 2):

- Nervus ulnaris:

Reiz: 5. Zehe

Ableitung 1: Grube medial des Os carpi accessorium

Ableitung 2: Medial am Olekranon. Der Nerv ist dort palpierbar.

Ableitung 3: Kranial vom Schultergelenk wird eingestochen und die Elektrode in kraniokaudaler Richtung ins Spatium subscapulare bis auf Höhe des Akromions vorgeschoben.

- Nervus tibialis:

Reiz: 4. Zehe

1. Ableitung: Grube zwischen Maleolus tibiae medialis und Processus calcanei.

Ableitung 2: Höhe Condylus medialis femoris, plantar des M. gastrocnemius. Etwa halbe Beindicke einstechen.

Ableitung 3: In der Mitte zwischen Trochanter major und Tuber ischiadicum.

Die Distanzen wurden mit einem flexiblen Messband von einem Punkt in der Mitte zwischen den beiden Klemmelektroden an den Zehen entlang der auf eine Ebene projiziert gedachten Nervenbahn, bis zur Spitze der differierten Elektrode gemessen. Die Lage der Elektrodenspitze konnte bestimmt werden, indem man eine gleichlange Nadel parallel zur gesteckten darüber hielt und deren Spitze in dieselbe Ebene projizierte.

Da die Umgebungstemperatur der Nerven auf ihre Leitgeschwindigkeit einen wesentlichen Einfluss hat, ist es wichtig, bei möglichst gleichbleibender Temperatur zu messen. Mit einem Wärmekissen wurde versucht, die Extremitätentemperatur möglichst konstant zwischen 37° und 38°C zu halten. Dabei wurde die Temperatur an den Ableitstellen gemessen und gemittelt. Ein elektrisches Universalthermometer mit Nadelfühler erlaubt, das Ergebnis schon kurz nach dem Einstich abzulesen. Diese Nadel durfte jedoch nicht belassen werden, weil sie die Aufzeichnung störte.

Die Amplitude wurde zwischen dem grössten positiven und dem grössten negativen Gipfel gemessen (Abb. 4b). Als Phasenzahl eines Signals wurde die Anzahl O-Durchgänge + 1 ausgezählt. Dabei wurden nur diejenigen Komponenten einbezogen, deren Amplitude mindestens 10% der Maximalamplitude erreichten, da kleinere Potentiale sich schwerlich von Artefakten unterscheiden lassen (Abb. 4a) (26, 28).

Die Potentialdauer wurde zwischen der ersten positiven Spitze und der positiven Spitze der letzten gezählten Komponente gemessen (Abb. 4).

Für die Berechnung der Latenzzeit wurde die Distanz zwischen Beginn des Reizeinbruchs bis zum ersten positiven Gipfelpunkt des orthodromen sensiblen Nervenaktionspotentials gemessen. In Abhängigkeit zur gewählten Analysenzeit ergab sich daraus die Latenzzeit (Abb. 4).

Die antidrome Latenzzeit wurde aus der Distanz zwischen Beginn des Reizeinbruchs bis zum negativen Abgang des Potentials von der Grundlinie berechnet (Abb 5).

Sowohl die antidrome als auch die orthodrome sensible Nervenleitgeschwindigkeit wurden nur aus den Latenzzeitdifferenzen berechnet:

$$\text{sensible Nervenleitgeschwindigkeit} = \frac{\text{Distanz}}{\text{Latenzzeitdifferenz}}$$

3. Ergebnisse

Tabelle 1 Orthodrome Nervenleitgeschwindigkeiten und Signalparameter Nervus ulnaris													
Versuchstier- nummer	Extremitäten- temperatur	$v \left(\frac{m}{s} \right)$			Amplitude (μV)			Phasenzahl			Dauer (ms)		
		A_1-A_2	A_2-A_3	A_1-A_3	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
2	37 ⁷	79			9	6		2	7		4	4	
5	37 ⁷	69			7	3		3	7		2,5	4	
6	36 ³	79			5	4		3	6		1,5	3,5	
8	37 ⁵	65			10	5		3	7		2,5	3,5	
8	36 ⁸	58			5	3		3	5		2	5,4	
8	38 ²	75	71	73	2,5	2,5	3	5	3	6	2,6	3	3,4
9	38 ⁶	72			10	10		3	7		2	3	
9	38	78			10	6		3	5		2,6	4	
9	37 ⁹	68	72	70	15	5	1,4	3	6	3	2	4	3
10	38 ¹	74			16	12		3	2		2,4	5	
10	38 ¹	66			9	4		3	3		2	3	
Auswertung	$\bar{x}$	71,2			8,85	5,50		3,09	5,27		2,37	3,85	
	s	6,7			4,08	2,99		0,70	1,85		0,64	0,79	

Tabelle 1 und 2 zeigen die Ergebnisse bei der Bestimmung der orthodromen sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit bzw. der Parameter der Nervensummenpotentiale

Leere Felder: Es konnten die entsprechenden Werte nicht gewonnen werden: Am proximalen Nervenstamm war es oft nicht möglich, die Ableitelektroden so zu platzieren, dass ausmessbare Nervensummenpotentiale abgeleitet werden konnten.

Tabelle 2

Orthodrome Nervenleitgeschwindigkeiten und Signalparameter

Nervus tibialis

Versuchstier- nummer	Extremitäten- temperatur	$V \left(\frac{m}{s} \right)$			Amplitude (μV)			Phasenzahl			Dauer (ms)		
		A_1-A_2	A_2-A_3	A_1-A_3	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
2	38 ¹			74	7		4	3		11	2,5		3,5
2	38 ³	67	75	70	5	3	2	3	6	11	5	7	8
5	37 ⁸	64			8	4		3	7		3	4	
6	38	70	74	72	5	6	2	3	11	6	3	4	3,8
6	37 ⁹	67	69	68	7	3	6	3	9	13	3	4	6
6	37 ⁷			70	9		3	3		19	3		9
6	38	70	75	73	7	5	4	3	11	17	5	5	6
7	37 ⁵	64			10	3		3	5		2	2,5	
8	38	62			4	4		9	22		4	7	
8	37 ⁶	56			6	2		15	23		9	8,4	
8	38	64	68	66	1,2	0,5	1,4	13	11	25	4	8	10
9	37 ⁶	62			7	2		3	7		2	3	
9	37 ⁵	61			4	1,5		3	11		4	7	
9	37 ⁷	68	73	70	2,5	5	2,5	3	19		3	7,6	
10	37 ⁴	66			10	7		5	13		3	5	
10	38 ⁵	69	75	72	3	2	3	3	7	9	2,4	3,8	4
11	37 ⁷	68			10	3		3	7		2	3	
12	37 ⁹	65	69	67	6	2,5	2	3	3	9	2	3	5
Auswer- tung	$\bar{x}$	65,2	72,3	70,2	6,21	3,34	2,99	4,67	10,75	13,33	4,44	5,02	6,14
	s	3,75	3,06	2,62	2,64	1,73	1,37	3,71	5,92	5,96	1,68	1,90	2,37

Tabelle 3

Antidrome Nervenleitgeschwindigkeit

Nervus ulnaris			Nervus tibialis				
Versuchstier- nummer	Extremitäten- temperatur	V ($\frac{m}{s}$) A ₂ -A ₁	Versuchstier- nummer	Extremitäten- temperatur	V ($\frac{m}{s}$)		
					A ₂ -A ₁	A ₃ -A ₂	A ₃ -A ₁
2	37 ⁷	79	5	37 ⁸	69		
5	37 ⁷	70	5	37 ⁶		70	
6	36 ⁷	79	6	37 ⁷			71
6	36 ³	79	6	38			77
8	37 ⁵	64	7	37 ⁵	66		
9	38 ⁶	67	8	38	57		
9	38	78	8	37 ⁶	54		
10	38 ¹	67	9	37 ⁶	57		
			10	37 ⁴	66		
			11	37 ⁷	68		
Auswer- tung	$\bar{x}$	72,9	Auswer- tung	$\bar{x}$	62,4		
	s	6,49		s	6,19		

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse bei der Bestimmung der antidromen sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit.

Die Parameter antidromer Nervensummenpotentiale sind für klinische Fragestellungen nicht interessant, deshalb werden entsprechende Werte hier nicht aufgeführt.

Leere Felder: Es konnten entsprechende Werte nicht gewonnen werden.

4. Diskussion

Mit der beschriebenen Methode konnten bei allen untersuchten Hunden sicher und schnell orthodrome sensible Nervenaktionspotentiale abgeleitet werden, und zwar vom Nervus tibialis an Tarsus, Knie und Hüfte, vom Nervus ulnaris an Carpus und Ellbogen. Einzig im Plexus brachialis bereitete das Auffinden der Ulnarisanteile erhebliche Schwierigkeiten. Die differenzierte Elektrode konnte meist nur so nahe plaziert werden, bis bei der Suche mit 15 Volt Reizspannung und 0,05 ms Dauer in der Interosseusmuskulatur noch ein Muskelsummenpotential abgeleitet werden konnte, bei einer Verstärkung von 100 $\mu\text{V}/\text{cm}$. Mit dieser Platzierung konnten zwar Nervenaktionspotentiale zur Geschwindigkeitsbestimmung abgeleitet werden, jedoch konnten die Potentialparameter nicht untersucht werden, weil sie viel zu klein ausfielen und die langsamen Komponenten im Rauschen des Verstärkers untergingen.

Die Haut im Bereich der Reizstelle an den Zehen wird aber von mehreren peripheren Nerven versorgt, so dass Reizantwortpotentiale nicht nur im zu untersuchenden Nerv auftraten. Bei perkutaner Reizung an der 5. Zehe der Vordergliedmasse traten Aktionspotentiale nicht nur im Nervus ulnaris, sondern auch in den Nervi medianus, radialis und musculocutaneus auf. Es ist wahrscheinlich, dass durch Ausbreitung des Reizimpulses Anteile all dieser Nerven gereizt werden. Ueberdies ist beim Menschen die Möglichkeit des Ueberspringens eines Potentials von einem Nerv auf andere im Bereich der Hand beschrieben (4, 35). Für den Hund fehlen diesbezügliche Untersuchungen.

Im Plexus brachialis ist es oft möglich, an unterschiedlichen Stellen Nervenpotentiale zu registrieren. Dies ist auf den Faseraustausch im Plexusbereich zurückzuführen. So entstehen Nervenstämmen mit verschiedenen radikulären Anteilen.

Aus diesem Grund können im Plexus brachialis keine amplitudenstarken Potentiale abgeleitet werden, denn Fasern z.B. des Nervus ulnaris verteilen sich auf mehrere, räumlich getrennte Plexusanteile.

An der Hintergliedmasse liegt die proximalste Ableitstelle im Bereich zwischen Trochanter major und Tuber ischiadicum des Beckens, d.h. distal

des Plexus lumbosacralis. An dieser Stelle ist mit Leichtigkeit ein orthodromes Nervenaktionspotential aufzufinden, denn die Fasern der Nervi tibialis und peroneus verlaufen hier gebündelt im Nervus ischiadicus. Das Potential ist somit zusammengesetzt aus Anteilen der Nervi plantares medialis et lateralis (Plantarhaut der Zehen) und des Nervus peroneus supf. (Dorsalhaut der Zehen). Auf die Probleme der Elektrodenplatzierung bei rein sensiblen Nerven wurde bereits früher hingewiesen. Besondere Schwierigkeiten ergeben sich dann, wenn es nicht gelingt, im rein sensiblen Nerv ein Potential normaler Form abzuleiten. Es wird dann stets die Unsicherheit bestehen, ob dieses Potential als pathologisch zu beurteilen sei oder ob einfach die Elektroden ungünstig platziert sind. Daher ist es notwendig, den Sitz der Elektroden aufgrund anderer Kriterien zu überprüfen. Am gemischten Nerv ist dies über die Reizung motorischer Fasern und die Ableitung des Muskelsummenpotentials in einem zugehörigen Muskel möglich. Der Vollständigkeit halber sei auf die verschiedenen Untersuchungen über Einfluss von Temperatur, Alter, Körperlänge, Geschlecht und Tagesrhythmus auf die Leitgeschwindigkeit und die Nervenaktionspotential-Parameter hingewiesen (27). In der vorliegenden Arbeit wurde nur darauf geachtet, dass die untersuchte Extremität bei allen Versuchen eine zwischen 37° und 38°C liegende Temperatur hatten. Da über die untersuchten Tiere keine Altersangaben erhältlich waren, konnten nur anhand der Zähne Altersschätzungen gemacht werden.

Bei Distanzmessversuchen von verschiedenen Personen am gleichen Tier haben sich Messfehler von 5% ergeben. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass Binzegger (1) bei seinen Messungen in den Nervi ulnaris und tibialis um 4 - 5 m/s tiefere Werte für die Nervenleitgeschwindigkeit erhalten hat. Die Ursache dieser unterschiedlichen Werte konnte nicht eruiert werden. Die bei seinen Messungen um 2°C tiefere Extremitätentemperatur vermag die Differenz nicht zu erklären. Interessant ist, dass auch bei ihm die Leitgeschwindigkeit zwischen A_1 und A_2 im Nervus ulnaris um 6 m/s schneller war als im entsprechenden Segment des Nervus tibialis.

Die Leitgeschwindigkeiten im proximalen Abschnitt A_2 bis A_3 waren um durchschnittlich 10% höher als im distalen Abschnitt A_1 bis A_2 (Tab. 1 und 2).

Die Nervenleitgeschwindigkeit wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Eine Verminderung des Natriumeinstroms durch Verschlechterung der Natriumpermeabilität etwa in Folge tiefer Temperaturen führt zu einer Senkung der Nervenleitgeschwindigkeit. Man hat versucht, die proximal stets höher gemessenen Nervenleitgeschwindigkeitswerte darauf zurückzuführen, dass proximal die Temperatur höher liegt als distal an den Gliedmassen. Trojaborg hat allerdings gezeigt, dass die höhere Temperatur die höhere proximale Geschwindigkeit nicht erklären kann (35). Auch morphologische Gegebenheiten beeinflussen die Geschwindigkeit: dicke Nervenfasern haben einen kleineren inneren Widerstand als dünne. Es kommt deshalb zu einem grösseren Stromfluss, so dass benachbarte Stellen rascher depolarisiert werden. Schliesslich führen auch grössere Internodalsegmente zu höheren Leitgeschwindigkeiten (22, 28).

Häufig konnten keine antidromen Potentiale abgeleitet werden, obwohl normale orthodrome Signale vorhanden waren.

Die in den gleichen Segmenten durchgeführten ortho- und antidromen Messungen brachten jeweils die gleichen Leitgeschwindigkeiten.

Wegen der submaximalen Stimulierung sind Amplitude, Form und Dauer bei den antidromen Potentialen keine verbindlichen Grössen (28). Zudem waren späte Komponenten stets durch volumengeleitete Muskelaktionspotentiale verdeckt. Die antidrome Messung ist wegen all dieser Schwierigkeiten ungeeignet für klinische Untersuchungen, zumal sie ja weniger Information liefert als die beim Hund einfachere und sichere Methode der orthodromen Messung.

Analog zum Menschen können beim Hund für die Charakterisierung des orthodromen sensiblen Nervenaktionspotentials Amplitude, Form und Dauer herangezogen werden.

Wie aus den Tabellen 1 und 2 entnommen werden kann, unterliegen die Amplituden einer sehr starken Streuung zwischen den verschiedenen Tieren. Jedoch ist ersichtlich, dass beim gleichen Tier mit zunehmender Messdistanz die Amplitude kleiner wird. Wie beim Menschen (25) scheint auch beim Hund die Amplitude von vielen Variablen abzuhängen. Ihr diagnostischer Nutzen scheint gering.

Wesentlich konstanter fiel die Phasenzahl bei der distalen Ableitstelle A_1 aus. Sowohl am Carpus als auch am Tarsus kann sie mit 3 angegeben werden. Nur das Tier Nummer 8 weicht am Tarsus wesentlich von diesem Wert ab. Auch die Leitgeschwindigkeit war bei diesem Tier wesentlich unter derjenigen der anderen Tiere. Da das Tier anhand der Zähne und des Exterieurs auf sehr alt (mehr als 8 Jahre) geschätzt wurde, liegt der Verdacht nahe, dass diese Abweichungen altersbedingt sind.

Im Bereich der A_2 nimmt die Phasenzahl zu, und zwar beim Ellbogen bis 7, beim Knie bis 13. Auch hier fällt Tier Nr. 8 mit 23 Phasen am Knie auf. Für A_3 konnte am Nervus ulnaris nur 2 Messungen durchgeführt werden. Am Nervus tibialis streute die Phasenzahl von 6 bis 19. Ein Extremwert von 25 wurde wieder bei Tier Nr. 8 registriert.

Auch die Signaldauer scheint sich zur Beschreibung des orthodromen sensiblen Nervenaktionspotentials gut zu eignen. Die leichte Streuung an der gleichen Ableitstelle, aber bei verschiedenen Tieren dürfte auch auf die unterschiedliche Körpergrösse zurückzuführen sein, sieht man doch deutlich die Tendenz der Zunahme der Signaldauer von A_1 zu A_3 bei den einzelnen Tieren.

Phasenzahl und Signaldauer sind für die Beschreibung der sensiblen orthodromen Signale geeignete Parameter, hingegen scheint die Amplitude von zu vielen Faktoren abhängig um ein guter Parameter zu sein.

Oft wurde die Aufzeichnung im Plexus brachialis durch das Elektrokardiogramm, das den Verstärker übersteuerte, verunmöglicht. Diese Störung lässt sich beheben, wenn man den QRS-Komplex des EKG's zum Triggern des Stimulationsgerätes verwendet. Die Stimulation wird so verzögert, dass der Reizimpuls und das orthodrome Nervenaktionspotential in das T-P-Intervall zu liegen kommen. Im Grunde genommen würde der EKG-Einbruch auch verschwinden, wenn differente und indifferente Elektrode auf einer Aequipotentialfläche liegen würden. Diese Stelle zu finden war aber oft nicht möglich oder mit zu grossem Zeitaufwand verbunden.

Häufig übersteuert bereits die positive oder negative Spitze des eintreffenden, volumengeleiteten Reizeinbruchs den sehr empfindlichen Verstärker. Der Verstärker findet nur langsam seine 0-Linie wieder und das in dieser Zeit eintreffende Aktionspotential wird nach unten oder oben verschoben.

Dadurch wird seine Auswertung erschwert, meistens sogar verunmöglicht. Dieser Fehler kann durch besseres Symmetrieren von Erdungselektrode, differenter und indifferenter Elektrode behoben werden. Nach Möglichkeit wird nur die Erdungselektrode oder die indifferente Elektrode versetzt (Abb. 6).

Bei der Ableitung von orthodromen Nervenaktionspotentialen trat oft eine Störung auf, die es verunmöglichte, die Potentiale richtig auszuwerten. Es handelt sich dabei um positive Signale, die 2 - 4 mal höhere Amplituden als die echten Nervenaktionspotentiale haben. Derartige Potentiale werden immer dann abgeleitet, wenn schon schwache Reizintensitäten Muskelaktionspotentiale auslösen. Durch leichtes Zurückziehen der differentiellen Elektrode kann ein messbares Nervenaktionspotential erhalten werden. Ludin vermutet, dass die Leitung in den einzelnen Nervenfasern durch Druck der ableitenden Nadelelektrode reversibel blockiert ist. Da die Elektrode möglicherweise im Nerven liegt, wird von den am nächsten liegenden Fasern ein amplitudenstarkes Potential abgeleitet, das wegen des Leitungsblocks vorwiegend positiv ist (23). Es wäre interessant, diese Theorie experimentell zu prüfen. In den vorliegenden Versuchen konnte mit langsamem Zurückziehen der differentiellen Elektrode das Artefakt behoben werden, aber ein klassisches orthodromes Signal konnte danach nie abgeleitet werden (Abb. 7). Auch konnte das Artefakt nie am Carpus, respektive Tarsus, sondern immer nur proximal, beobachtet werden. Wenn die Ueberlegung stimmt, dass die differente Elektrode sogar im Nerv drin sitzt, könnten dort ja auch durch die Ableitung Läsionen gesetzt werden. So stellt sich die Frage, ob nicht die Folge solcher Läsionen an distalen Ableitstellen zu einem pathologisch veränderten Potential an proximalen Ableitstellen führen kann. Vorsichtshalber müsste gefordert werden, dass im Lauf der Untersuchung vorerst proximal gemessen wird.

5. Abbildungen

Abbildung 1:

Blockschaltbild der elektronischen Geräte

Abbildung 2:

Anordnung der Reiz- und Ableitelektroden an Vorder- und Hintergliedmasse

Abbildung 3:

Elektroden

Abbildung 4:

Signalparameter beim orthodromen sensiblen Nervenaktionspotential

Abbildung 5:

Latenzzeitmessung beim antidromen sensiblen Nervenaktionspotential

Abbildung 6:

Einfluss des Reizartefaktes auf die Darstellungstreue des Verstärkers

Abbildung 7:

Artefakt durch zu nahe sitzende differente Elektrode

Abbildung 8:

Antidrome Signale

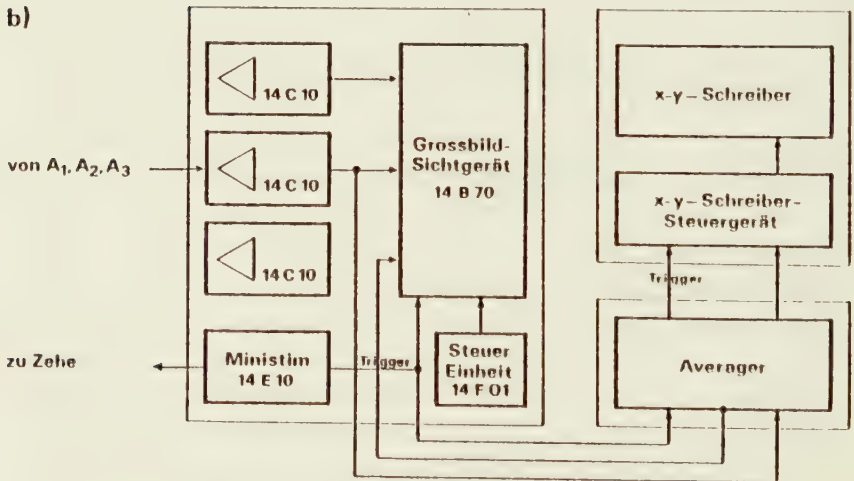
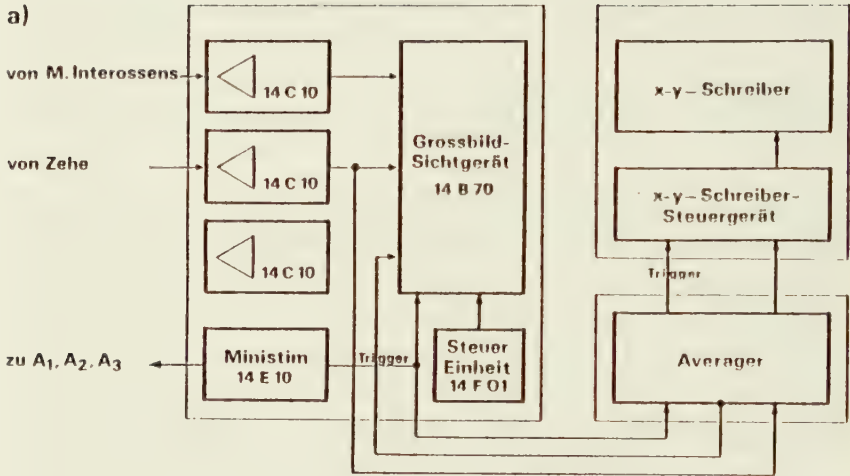


Abb. 1: a) Blockschaftbild für die „antidrome“ Messung.

b) Blockschaftbild für die „orthodrome“ Messung.

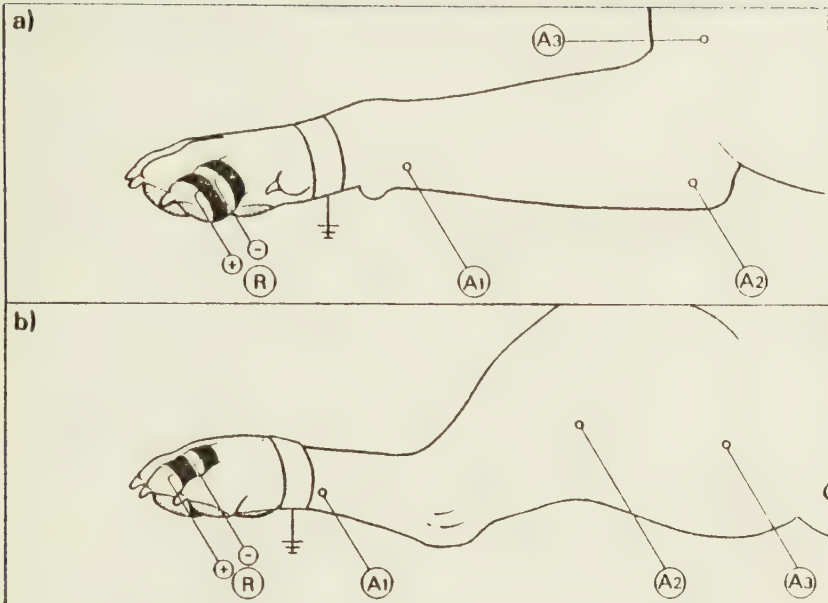


Abb.2: Anordnung der Reiz- und Ableitelektroden an der Vordergliedmasse (a), und an der Hintergliedmasse (b). Bei der „orthodromen“ Messung bedeutet R die zwei Klemmelektroden an der Zehe, an der gereizt wird, A₁, A₂, A₃ sind die Ableitstellen am Nerv. Bei der „antidromen“ Messung sind A₁, A₂, und A₃ die Reizstellen am Nerv und R die Ableitstelle an der Zehe.

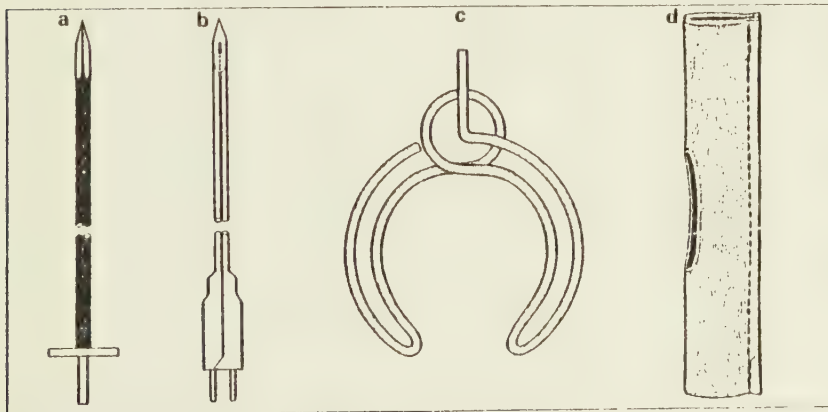


Abb.3: a) Teflonisierte Stahlnadel Disa mit blanker Spitze
b) Konzentrische Nadelelektrode Disa
c) Klemmelektrode für Zehen
d) Filzschlauch für Klemmelektrode.

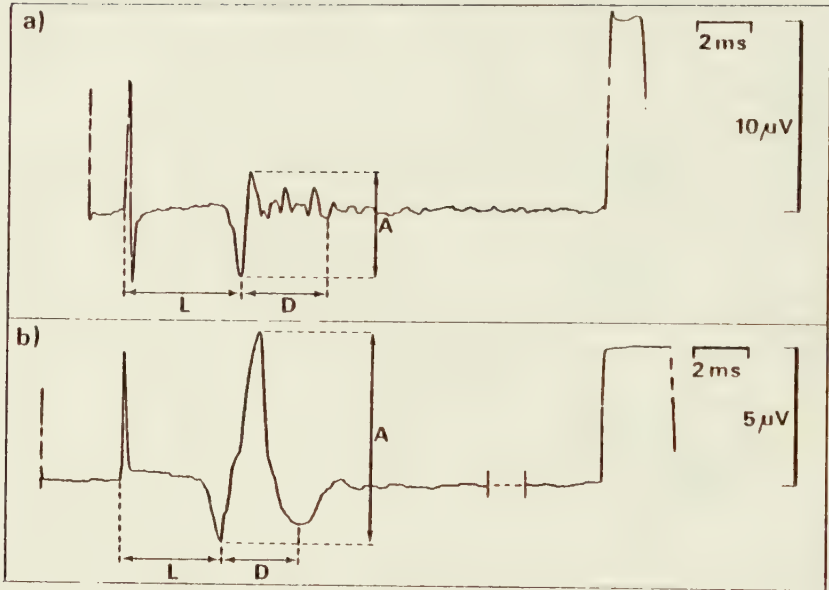


Abb.4: Signalparameter beim orthodromen sensiblen Nervenaktionspotential.

A = Amplitude, D = Dauer, L = Latenzzeit.

a) Beim 9-phasigen Nervenaktionspotential

b) Beim 3-phasigen Nervenaktionspotential

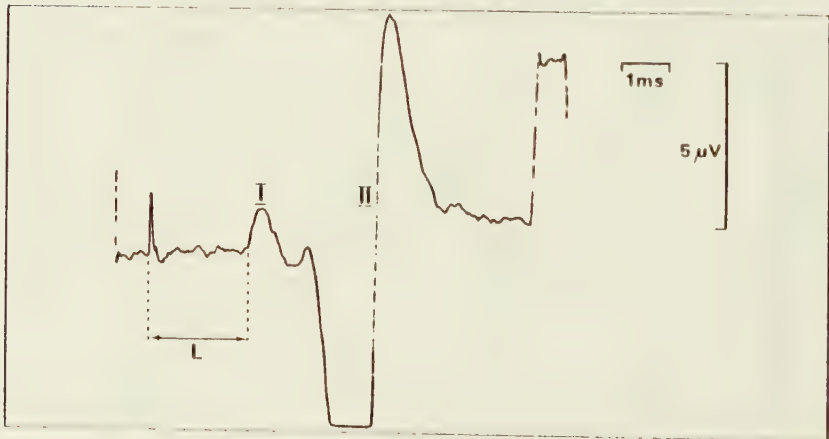


Abb.5: Latenzzeitmessung beim antidromen sensiblen Nervenaktionspotential (I).

L = Latenzzeit, II = volumen geleitetes Muskelsummenpotential

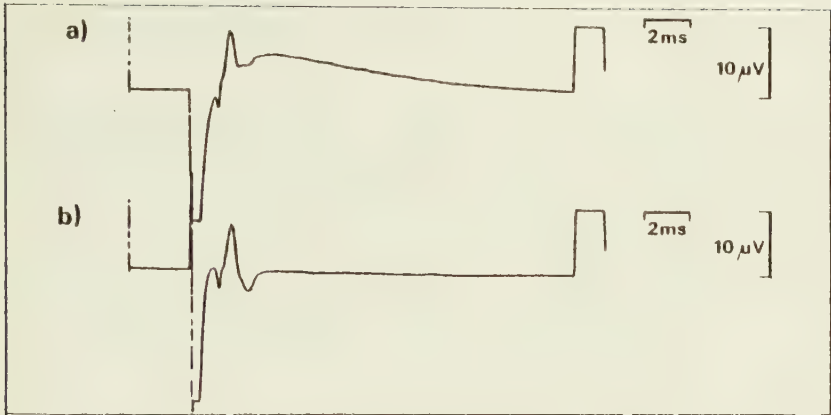


Abb. 6: Einfluss des Reizartefaktes auf die Darstellungstreue des Verstärkers.

- a) Schlechte Erdsymmetrie der Elektrodenanordnung. Der vom Reizartefakt stark übersteuerte Verstärker verzerrt das Nervenaktionspotential.
- b) Nach dem Umplazieren der indifferenten Ableitelektrode ist die Übersteuerung nur kurz und das orthodrome sensible Nervenaktionspotential getreu dargestellt.

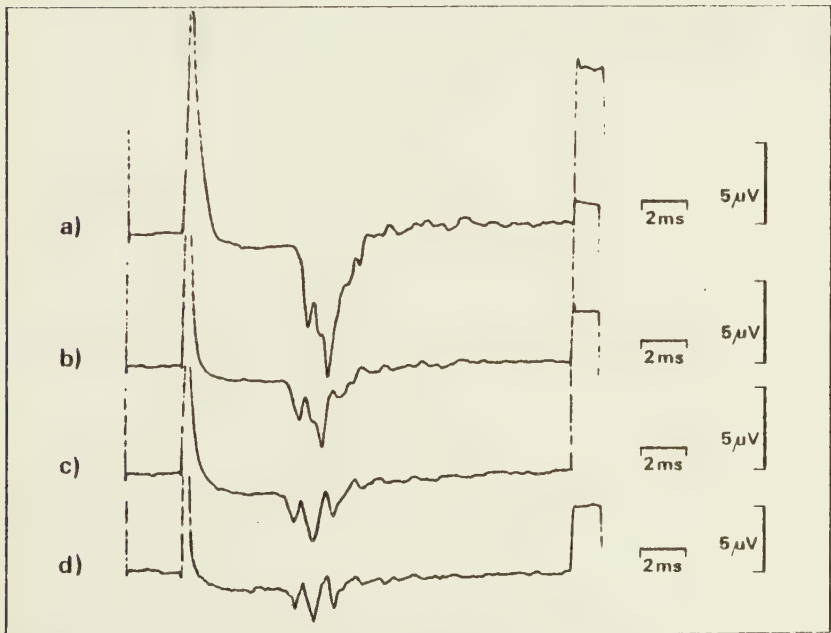


Abb. 7: a) Artefakt durch zu nahe sitzende differente Elektrode.

- b), c), d) Die differente Elektrode wurde von a) bis d) etwas zurückgezogen.

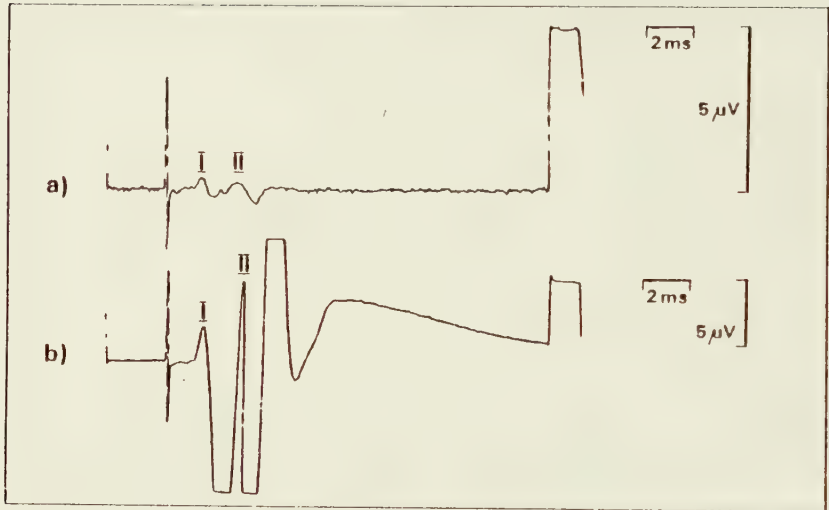


Abb.8: Antidromes sensibles Nervenaktionspotential (I) mit anschliessendem volumen-geleiteten Muskelsummenpotential (II),

a) bei einem Reiz von 0,85 Volt Spannung und 0,05 ms Dauer.

b) bei einem Reiz von 1,5 Volt Spannung und 0,05 ms Dauer.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine für klinische Bedürfnisse vereinfachte Methode zur peripheren sensiblen Neurographie beim Hund entwickelt. Beim Hund eignet sich die antidrome sensible Technik nicht für klinische Belange, hingegen konnten auf einfache Weise Normalwerte für die orthodrome sensible Nervenleitgeschwindigkeit und die sensiblen orthodromen Nervenaktionspotentiale bestimmt werden. Die Messungen wurden am Nervus ulnaris und am Nervus tibialis des Hundes durchgeführt.

7. Literaturverzeichnis

- 1) Binzegger, J.: Die Ableitung von Nervenaktionspotentialen in situ zur Bestimmung der "orthodromen" Erregungsleitungsgeschwindigkeit sensibler Nervenfasern beim Hund. Dissertation Zürich, 1976.
- 2) Boyd, I.A., Davey, M.R.: Composition of peripheral nervs. E & S Livingstone Ltd., Edinburgh and London, 1968.
- 3) Buchthal, F., Rosenfalck, A.: Action Potentials from sensory nerve in Man: Physiology and clinical application. Acta neurol.scandinav. H 13, 263, 1965.
- 4) Buchthal, F., Rosenfalck, A.: Evoked action potentials and conduction velocity in human sensory nervs. Brain Res. 3, 1-122, 1966.
- 5) Buchthal, F., Rosenfalck, A.: Sensory potentials in polyneuropathy. Brain. 94, 241-262, 1971.
- 6) Buchthal, F.: Sensory and motor conduction in polyneuropathies. In: New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology, hrsg. von J.E. Desmedt, Bd. 2, p. 259, Karger, Basel 1973.
- 7) Cummings, J.F., De Lahunta, A.: Chronic relapsing polyradiculoneuritis in a dog. A clinical, light- and electronmicroscopic study. Acta Neuropath.(Berl.) 28, 191-204, 1974.
- 8) Dorfman, L.J. and Bosley, T.M.: Age-related changes in peripheral and central nerve conduction in man. Neurology 29, 38-44, 1979.
- 9) Duncan, I.D., Griffiths, I.R.: Canine giant axonal neuropathy. Vet. Rec. 101, 438-441, 1977.
- 10) Duncan, I.D.: Peripheral nerve disease in dog and cat. Vet.Clin.N. Amer.: Small Anim.pract. 10, 177-211, 1980.
- 11) Equey, R.: Zur Bestimmung der Erregungsleitungsgeschwindigkeit motorischer Nervenfasern beim Hund. Dissertation Zürich, 1975.
- 12) Erlanger, J.: Analysis of the action potential in nerve. Harvey Lec. 22, 90, 1927.
- 13) Gamstrop, L., Shelburne, S.A.: Peripheral sensory conduction in ulnar and median nerves of normal infants, children and adolescents. Acta paediat.scand. 146, 309, 1965.
- 14) Gilliat, R.W., Melville, I.D., Velate, A.S., Willison, R.G.: A study of normal nerve action potential using an averaging technique (Barriergrid storage tube). J.Neurol.Neurosurg.psychiat. 28, 191-200, 1965.

- 15) Griffiths, I.R., Duncan, I.D., Swallow, J.S.: Peripheral polyneuropathies in dogs: a study of five cases. *J.small Anim.Pract.* 18, 101-116, 1977.
- 16) Griffiths, I.R., Duncan, I.D.: Distal denervating disease: a degenerative neuropathy of the distal motor axon in dogs. *J.small Anim.Pract.* 20, 579-592, 1979.
- 17) Griffiths, I.R., Duncan, I.D., Barker, J.: A progressive axonopathy of Boxer dogs affecting the central and peripheral nervous system. *J.small Anim.Pract.* 21, 29-43, 1980.
- 18) Heckmann, R.: Beitrag zur Elektromyographie in der Veterinarmedizin. Dissertation Zürich, 1972.
- 19) Hopf, H.C., Struppeler, A.: Elektromyographie, Thieme, Stuttgart 1974.
- 20) Kaeser, H.E.: Das sensible Nervenaktionspotential und seine klinische Bedeutung. *Dtsch.Z.Nervenheilk.* 188, 289-299, 1966.
- 21) Kitchell, R.L., Whalen, L.R., Bailey, C.S. and Lohse, C.L.: Electrophysiologic studies of cutaneous nerves of the thoracic limb of the dog. *Am.J.Vet.Res.* 41, 61-76, 1980.
- 22) Lascelles, R.G., Thomas, P.K.: Changes due to age in internodal length in the sural nerve in man. *J.Neurol.Neurosurg.Psychiat.* 29, 40, 1966.
- 23) Ludin, H.P.: Praktische Elektromyographie. Enke, Stuttgart, 1976.
- 24) Ludin, H.P.: Praktische Elektromyographie. 2. Aufl., Enke, Stuttgart, 1981.
- 25) Ludin, H.P., Beyeler, F.: Temperatur dependence of normal sensory nerve action potentials. *J.Neurol. (Berl.)* 216, 173, 1977.
- 26) Ludin, H.P., Lutschg, J., Valsangiacomo, F.: Vergleichende Untersuchung orthodromer und antidromer sensibler Nervenleitgeschwindigkeiten. 1. Befund bei Normalen und beim Karpaltunnelsyndrom. *Z.EEG-EMG* 8, 173-179, 1977.
- 27) Ludin, H.P., Lutschg, J., Valsangiacomo, F.: Vergleichende Untersuchung orthodromer und antidromer sensibler Nervenleitgeschwindigkeiten. 2. Befunde bei Polyneuropathien und bei Status nach Polyradikulitis. *Z.EEG-EMG* 8, 180-186, 1977.
- 28) Ludin, H.P., Tackmann, W.: Sensible Neurographie. Thieme, Stuttgart, 1979.
- 29) Lundervold, A., Bruland, H., Stensrud, P.: Conduction velocity in peripheral nerves: a general introduction. *Acta.neurol.scandinav.* H 1: Suppl. 13, 259, 1965.

- 30) Maynard, F.M., Stolov, W.C.: Experimental error in determination of nerv conduction velocity. Arch.Phys.Med.Rehab. 53, 362-372, 1972.
- 31) Mortier, W.: Die sensible Nervenleitgeschwindigkeit bei Frühgeborenen und älteren Kindern. Mschr.Kinderheilk. 119, 282, 1971.
- 32) Mortier, W.: Besondere Probleme bei der elektrodiagnostischen Untersuchung von Kindern. Z.EEG-EMG 8, 36, 1977.
- 33) Mummenthaler, M.: Neurologie. Thieme, Stuttgart, 6. Aufl., 1979.
- 34) Muray, Y., Sanderson, I. Studies of sensory conduction. Comparison of latencies of orthodromic and antidromic sensory potentials. J.Neurol.Neurosurg.Psychiat. 38, 1187-1189, 1975.
- 35) Trojaborg, W., Sindrup, E.H.: Motor and sensory conduction in different segments of the radial nerve in normal subjects. J.Neurol.Psychiat. 32, 354-359, 1969.
- 36) Ulrich, J.: Grundriss der Neuropathologie. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1975.
- 37) Walker, T.L., Redding, R.W., Braund, K.G.: Motor nerve conduction velocity and Latency in Dog. Am.J.Vet.Res. 40, 1433-1439, 1979.
- 38) Wiederholt, W.C.: Stimulus intensity and site of excitation in human median nerve sensory fibres. J.Neurol.Psychiat. 33, 438-441, 1970.

Lebenslauf

Name: Beat Nicca

Heimatort: Zürich, Sufers GR und Donath GR

Geboren: 28.1.1947

Eltern: Jules Nicca
Ruth Nicca geb. Alther

Schulen: 1954-63 Primar- und Sekundarschule Zürich
1963-67 Oberrealschule Zürich
1967-68 Institut Minerva Zürich
1968 Matura Typ C in Basel
1968-74 Vet. med. Studium an der Universität Zürich
1974 Eidgenössisches Staatsexamen
1974-77 Assistent im Institut für Zuchthygiene
1978 Assistent an der Vet.-Med, Kleintierklinik,
Zürich
1978-79 Assistent an der Vet.-Chirurg, Kleintier-
klinik, Zürich
ab 1979 diverse Vertretungen und Assistenzen in
Kleintierpraxen.

